



GUIDA ACCUMULO A BATTERIE · 8 MIN

Barriere a livello di cella e di modulo: carta in fibra, laminati microporosi e aerogel a confronto

Quale materiale barriera impedisce in modo più affidabile la propagazione tra celle e moduli? Un confronto tecnico tra carta in fibra, laminati microporosi e compositi in aerogel per sistemi di accumulo a batterie stazionari.

Perché la prima linea di difesa inizia nella cella

Una fuga termica (thermal runaway) inizia sempre in una singola cella. Che ne derivi un evento circoscritto o l'incendio completo dell'intero container di accumulo si decide nei primi secondi e minuti, e dipende dal fatto che la cella adiacente debba assorbire o meno il calore trasmesso. È qui che intervengono le barriere termiche a livello di cella e di modulo: sottili strati separatori tra le celle e piastre divisorie tra i moduli, che limitano il flusso termico finché l'energia rilasciata non è stata dissipata o distribuita.

Per progettisti e installatori di sistemi di accumulo stazionari il tema è doppiamente rilevante. In primo luogo, procedure di prova come UL 9540A valutano il comportamento di propagazione dalla cella al modulo fino all'unità: una barriera efficace a livello di cella migliora il risultato su tutti i livelli superiori. In secondo luogo, lo spazio disponibile nei rack moderni è estremamente ridotto: ogni millimetro di materiale barriera va a scapito della densità energetica. La scelta del materiale è quindi sempre un compromesso tra prestazione termica, spessore, comportamento meccanico e costi.

Nota: I requisiti di una barriera tra celle — Una barriera tra celle deve fare più che isolare: deve resistere per breve tempo alle particelle e ai gas caldi di un guasto di cella, garantire l'isolamento elettrico, seguire meccanicamente la «respirazione» ciclica delle celle (swelling) per tutta la vita utile e mantenere nel contempo la stabilità dimensionale. Nessun singolo materiale soddisfa perfettamente tutti i punti: nella pratica prevalgono quindi compromessi e strutture multistrato.

Carta in fibra: il classico robusto

Carte e materassini in fibre per alte temperature, come la classica lana di silicato di alluminio o la lana biosolubile di silicati alcalino-terrosi, sono consolidati da decenni nella costruzione di forni industriali. I loro punti di forza: temperature di classificazione molto elevate (a seconda del tipo di fibra, tipicamente nell'intervallo di circa 1.100–1.400 °C), buona disponibilità, facile lavorazione mediante fustellatura o taglio e un prezzo contenuto. Come strato separatore tra i moduli o come rivestimento degli involucri dei moduli offrono un servizio affidabile.

I loro limiti risiedono nella conducibilità termica e nel comportamento meccanico. Le carte in fibra isolano molto

meno dei materiali microporosi o degli aerogel e richiedono quindi uno spessore maggiore per ottenere lo stesso effetto protettivo. Sotto compressione permanente perdono inoltre capacità di ritorno elastico: per le posizioni in cui lo swelling delle celle deve essere assorbito elasticamente, da sole sono quindi adatte solo in parte. Per le classiche fibre di silicato di alluminio va inoltre considerata la classificazione come potenzialmente cancerogene, che comporta misure di protezione particolari durante la lavorazione e lo smantellamento; le fibre biosolubili evitano questo problema.

- Impiego tipico: strati separatori tra i moduli, rivestimento degli involucri di moduli e rack, strato di fondo dei canali di evacuazione dei gas
- Punti di forza: elevata resistenza alla temperatura, lavorazione semplice, costo contenuto
- Punti deboli: conducibilità termica più alta, ritorno elastico limitato, problematica delle polveri di fibra a seconda del tipo di fibra

Laminati microporosi: massimo isolamento per millimetro di protezione termica

Gli isolanti microporosi sono costituiti da silice pirogenica con opacizzanti e raggiungono dimensioni dei pori inferiori al libero cammino medio delle molecole d'aria. Il risultato è una conducibilità termica che alle alte temperature è inferiore a quella dell'aria ferma: nessun altro materiale di uso comune isola meglio per millimetro a contatto con gas caldi. Le temperature di classificazione si collocano, a seconda del prodotto, per lo più intorno ai 1.000 °C. È proprio questa combinazione a rendere pannelli e laminati microporosi la prima scelta quando in spazi ristrettissimi occorre mantenere un gradiente di temperatura molto ripido.

Il prezzo da pagare è la sensibilità meccanica: il materiale è sensibile alla pressione e polveroso, per cui viene lavorato praticamente sempre accoppiato, sigillato in film, avvolto in tessuto di vetro o come laminato con strati di copertura in mica o lamina metallica. Questi laminati combinano l'effetto isolante del nucleo microporoso con la rigidità dielettrica e la resistenza all'erosione da particelle dello strato di copertura. Per le posizioni soggette a compressione ciclica, cioè direttamente tra celle che «respirano», il materiale è invece inadatto, perché sotto carico alternato può compattarsi e perdere la propria struttura.

Nota: La mica come partner — Le lastre di mica offrono ciò che manca ai nuclei microporosi: elevata rigidità meccanica, eccellente isolamento elettrico e resistenza ai flussi di particelle calde. Nelle barriere multistrato la mica copre spesso il lato caldo, esposto alle particelle, mentre il nucleo microporoso mantiene il gradiente di temperatura.

Compositi in aerogel: sottili, flessibili, stabili alla compressione

Gli aerogel di silice sono tra i solidi con la più bassa conducibilità termica in assoluto; i compositi in aerogel rinforzati con fibre raggiungono a temperatura ambiente conducibilità termiche nell'ordine di 0,015–0,02 W/(m·K). A livello di cella, però, conta soprattutto la combinazione di effetto isolante, spessore ridotto e cedevolezza meccanica: pad in aerogel di pochi millimetri di spessore possono resistere per breve tempo a temperature di fiamma molto elevate e al tempo stesso assorbire elasticamente la «respirazione» e il rigonfiamento delle celle per migliaia di cicli, senza sviluppare una deformazione residua da compressione significativa.

I compositi in aerogel occupano così la posizione che carta in fibra e laminati microporosi non coprono: la barriera diretta tra cella e cella nei moduli prismatici e tra celle pouch, dove barriera e pad di compressione coincidono in un unico componente. Gli svantaggi sono il prezzo più elevato, la temperatura di impiego continuo limitata rispetto alla fibra ceramica, variabile a seconda del prodotto, e il possibile rilascio di polveri, anch'esso gestito tramite accoppiamenti. Per separazioni di moduli su grandi superfici o rivestimenti degli involucri spesso non sono la prima scelta dal punto di vista economico.

- Carta in fibra: ampia riserva di temperatura, richiede spessore; adatta per separazione dei moduli e involucri
- Laminato microporoso: miglior isolamento per millimetro, sensibile alla pressione; adatto per barriere statiche

con poco spazio

- Composito in aerogel: isola molto bene e assorbe elasticamente lo swelling; adatto per la posizione tra cella e cella
- Mica: forte sul piano meccanico ed elettrico, isola poco; adatta come strato di copertura in sistemi compositi

La scelta nel progetto: dal caso di carico alla verifica

La scelta del materiale non inizia dalla scheda tecnica, ma dal caso di carico: quanta energia rilascia la cella, quanto dura lo sfiato (venting), quali temperature e flussi di particelle si verificano sulla barriera e quale temperatura massima può raggiungere il lato freddo affinché la cella adiacente non entri nel campo critico? Da queste condizioni al contorno derivano spessore e struttura, spesso sotto forma di composito multistrato che combina nucleo isolante, protezione dalle particelle e isolamento elettrico.

La verifica dell'efficacia avviene in definitiva tramite prove: i test di propagazione a livello di cella e di modulo, standardizzati in Nord America dalla UL 9540A, mostrano se la barriera arresta davvero la propagazione o si limita a ritardarla. Importante per i gestori: un cambio di materiale durante la vita del prodotto, ad esempio per motivi di costo o di approvvigionamento, può mettere in discussione la validità delle prove esistenti. I materiali barriera rientrano quindi nel controllo delle modifiche del concetto di sicurezza, non nell'acquisto libero.

Domande frequenti

Una barriera a livello di cella è sufficiente per rinunciare a misure a livello di container?

No. Le barriere tra celle riducono la probabilità di propagazione, ma non sostituiscono né la compartimentazione antincendio del container né il rilevamento dei gas, lo sfogo della pressione o i sistemi di estinzione. Una protezione efficace nasce solo dall'interazione di tutti i livelli: cella, modulo, rack e locale.

Perché non si utilizza ovunque l'aerogel, se è l'isolante migliore?

I compositi in aerogel sono molto più costosi della carta in fibra e sfruttano i loro vantaggi soprattutto dove sono richiesti contemporaneamente spessore ridotto e comportamento a compressione, cioè direttamente tra le celle. Per separazioni statiche su grandi superfici, i prodotti in fibra o i laminati microporosi sono spesso la soluzione più economica e altrettanto efficace.

Cosa significa la «respirazione» delle celle per la scelta della barriera?

Le celle agli ioni di litio si dilatano durante la carica e con l'invecchiamento. Una barriera tra le celle deve assorbire elasticamente questa variazione di spessore senza compattarsi in modo permanente; altrimenti perde effetto isolante e il pacco di celle perde il suo precarico definito. I materiali con bassa deformazione residua da compressione sono qui nettamente avvantaggiati.

Parliamo del suo progetto

Risposta entro 24 ore nei giorni lavorativi.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 200

Leggi online: www.sbs-rs.de/batteriespeicher/ratgeber/barriere-zelle-modul